

Messungen von Kontaktpotentialen einiger Metalle*.

Von **Magdalene Forró** und **Emerich Patai** in Budapest.

Mit 11 Abbildungen. (Eingegangen am 20. Mai 1930.)

Die Arbeit befaßt sich mit Untersuchungen zur Bestimmung von Kontaktpotentialdifferenzen verschiedener Reinmetalle mittels einer Dreielektrodenröhrenmethode, welche durch ihre Reproduzierbarkeit und große Meßgenauigkeit zur Prüfung der Einsteinschen Gleichung geeignet ist.

1. Die neueren Untersuchungen zur Messung von Kontaktpotentialdifferenzen zwischen verschiedenen Metallen beruhen fast ausnahmslos auf der Lenard-schen Methode**, nach welcher der Integralwert des elektrischen Feldes, welcher zwischen den aus verschiedenen Metallen hergestellten Elektroden einer Zweielektroden-Vakuumpumpe ohne äußere Spannung (also definitionsgemäß die Kontaktpotentialdifferenzen zwischen den Elektroden) entsteht, aus der Stromspannungskurve bzw. aus der Verschiebung derselben ermittelt werden kann. Die Kathode ist in den meisten Anordnungen*** ein Glühdraht. Bei den Anordnungen von Mönch (l. c.) ist in der Versuchsröhre zwischen Kathode und Anode noch eine dritte Elektrode, das Gitter angeordnet; bei seiner zweiten, eigentlich allein brauchbaren Methode ist die Anode aus zwei verschiedenen Metallen zusammengesetzt und man kann sie durch Verschiebung der beiden Teile vertauschen. Bei der Verschiebung der Anode zeigt die Kurve, welche den Zusammenhang zwischen Anodenspannung und Anodenstrom darstellt, eine Parallelverschiebung, entsprechend der Kontaktpotentialdifferenz zwischen beiden Anodenteilen. Bei dieser Methode macht sich die experimentelle Unvollkommenheit einer mechanischen Vorrichtung in der Vakuumpumpe merklich fühlbar. Langmuir (l. c.) verwendet bei seinen Untersuchungen zwei Wolframdraht-Elektroden, welche mittels Strom ausgeglüht werden können; die Oberfläche der Anode läßt sich entweder durch das „Aktivieren“ des thoriumhaltigen Wolframdrahtes oder durch Verdampfen von Cäsium verändern. Die Parallelverschiebung der Anlaufstromkurven entspricht der Änderung des Kontaktpotentials, die durch die Änderung der Anodenoberfläche bedingt ist. Die Fehlerquellen bei

* E. Patai, ZS. f. Phys. **59**, 697, 1930.

** P. Lenard, Ann. d. Phys. **8**, 178, 1902.

*** W. Schottky, Ann. d. Phys. **44**, 1011, 1914; H. Rothe, ZS. f. techn. Phys. **6**, 633, 1925; G. Mönch, ebenda **7**, 522, 1928; I. Langmuir, Phys. Rev. **34**, 129, 1929.

dieser Methode sind durch Hilfselektroden beseitigt. Die von Langmuir veröffentlichten Messungen erstrecken sich auf Wolfram, Wolframoxyd, Cäsium und auf thoriertes Wolfram. Ein großer Vorteil dieser Methode ist, daß die drahtförmige Anode durch Ausglühen auf genügend hohe Temperatur von allen Oberflächenverunreinigungen, welche das Kontaktpotential wesentlich beeinflussen, vollkommen befreit werden kann.

Vor dem Erscheinen der Langmuirschen Arbeit veröffentlichte einer von uns* eine ähnliche Methode, mit welcher die Kontaktpotentialdifferenz zwischen Wolfram und thoriumhaltiger Wolframoberfläche sehr genau und reproduzierbar ermittelt werden kann. Diese Methode bietet gegenüber der Langmuirschen den Vorteil, daß durch Verwendung von drei Elektroden die Wirkungsweise einer Spannungsverstärkerröhre völlig ausgenutzt werden kann. Da diese Methode sich als fruchtbar erwies, schien es uns lohnend, sie auch auf andere Metalle auszudehnen. Unser Bestreben war, bei der Erweiterung dieser Methode durch Anwendung der hochentwickelten vakuumtechnischen Methoden der Röhrenindustrie für die vollkommene Reinheit der Metalloberflächen und für vorzügliches Vakuum Sorge zu tragen. Das hohe Vakuum ist bei diesen Messungen unerlässlich, da, wie z. B. die Untersuchungen von Langmuir zeigten, die Oberfläche eines Wolframdrahtes durch Anwesenheit von 10^{-6} mm Hg Sauerstoffdruck schon merklich verändert wird. Wie bekannt, läßt sich das höchste Vakuum durch „chemisches Pumpen“ nach Abschmelzen der Röhren von der Pumpapparatur erreichen. Bei unserer konzentrischen Anordnung der Elektroden waren Fehlerquellen, welche aus der inhomogenen Feldverteilung entstehen, ohne Anbringen von Schirmelektroden auf ein Minimum beschränkt.

2. Im Prinzip besteht das Verfahren in der Aufnahme der Kennlinien einer Dreielektrodenröhre; die Kennlinien werden einmal bestimmt, wenn als Gitter das ursprüngliche Metall (z. B. Molybdän) dient, und ein zweites Mal, wenn die Gitterspiralen mit einer gleichmäßigen Schicht eines anderen Metalls bedeckt und infolgedessen das Gitter gleichwertig ist mit einer Anordnung, bei welcher es aus diesem aufgedampften Metall besteht. Den Verlauf der Kennlinien bestimmt im ersten Falle die Kontaktpotentialdifferenz, welche zwischen dem Glühdraht (bei allen unseren Versuchen Wolfram) und dem ursprünglichen Material des Gitters, im zweiten Falle jene, welche zwischen dem ungeänderten Glühdrahtmaterial und dem mit Metallüberzug versehenen Gitter auftritt. Dieser Unterschied

* Emerich Patai, Mat. és Fiz. Lapok **35**, Juli/Dez. 1928 (ungarisch mit Auszug in deutscher Sprache).

in den beiden Fällen macht sich als eine Parallelverschiebung der Kennlinien bemerkbar; die Verschiebung ist ein Maß für das Kontaktpotential, welches zwischen Gittergrundmaterial und aufgedampftem Metall besteht. Die Verschiebung erfolgt nach links, d. h. nach negativen Gitterspannungswerten, wenn das Gitter im zweiten Falle mit einem Metall überzogen ist, für das die Austrittsarbeit kleiner ist als die des Grundmaterials. Bei allen unseren Versuchen haben wir aus verschiedenen Gründen als Gitterüberzug Natrium verwendet. Erstens weil es, wie wir weiter unten beschreiben werden, vollkommen rein in die schon evakuierte Röhre hineingebracht werden kann, zweitens, weil die Austrittsarbeit für Natrium bedeutend geringer ist als die der Gittermetalle, so daß immer eine beträchtliche Verschiebung der Kennlinie zustande kam; und drittens, weil Natrium schon bei einer ziemlich tiefen Temperatur verdampft und infolgedessen die Natriumschicht von der Gitterspirale leicht durch Glühen derselben entfernt werden kann*. Dieser letztgenannte Tatbestand ermöglicht, in derselben Anordnung die Reproduzierbarkeit des Meßergebnisses zu prüfen, da man durch Ausglühen der Spiralen (und gleichzeitige Abkühlung des Kolbens) die ursprüngliche, reine Metalloberfläche und durch Erwärmung des am Glaskolben haftenden Natriumspiegels wieder mit Natrium bedeckte Spiralen erhält. Für die verschiedenen Metalle erhielten wir die Werte dadurch, daß wir Röhren identischer Dimensionierung nur mit aus verschiedenen Materialien hergestellten Gittern verwendeten und jeweils Natrium als Vergleichssubstanz benutzten.

3. Die Konstruktion der bei unseren Versuchen verwendeten Röhren ist aus Fig. 1 ersichtlich. Die Glühkathode *a* war ein Wolframdraht von 0,022 mm Durchmesser und 25 mm Länge. Das Gitter *b* ist als Drahtspirale ausgebildet; Drahtdicke 0,2 bis 0,3 mm, Spiraldurchmesser 2,5 mm, Länge 17 mm; die Windungszahl variierte von 11,5 bis 20,5. Die Anode *c* bestand bei den ersten Versuchen aus Nickelblech von 7 mm Durchmesser und 15 mm Länge; später wurde sie durch einen spiralförmigen Molybdändraht ersetzt. Sowohl das Gitter wie die Spiralanode hatten zwei Zuführungen, um das Ausglühen derselben mittels direktem elektrischen Strom zu ermöglichen. Die Hilfskathode *d* aus Wolfram diente als Elektronenquelle bei der elektrolytischen Einführung des Natriums in die Röhren. Der Glaskolben bestand aus Moosbrunner bleifreiem Glas.

4. Die Röhren wurden mit besonderer Sorgfalt evakuiert; während des Pumpprozesses wurden sie vier- bis fünfmal auf 400° C je eine Stunde

* Gleichzeitig wirkt das Natrium auch als „Gettermaterial“.

lang erwärmt und dazwischen die Elektroden, hauptsächlich Gitter und Anode, auf helle Weißglut (d. h. bis zu der noch höchst zulässigen Temperatur, bei welcher noch keine Deformation der Gitterspirale oder Verdampfung des Metalls zu befürchten war) erhitzt. Das so erreichte Vakuum betrug ungefähr 10^{-5} bis 10^{-6} mm Hg. Nach dem Abschmelzen der Röhre konnte durch das in der Elektronenröhrenindustrie wohlbekannte „clean up“-Verfahren das Vakuum in der Röhre ungefähr auf 10^{-8} mm Hg verbessert werden. Sodann wurde das Natrium in die Röhre elektrolytisch eingeführt.

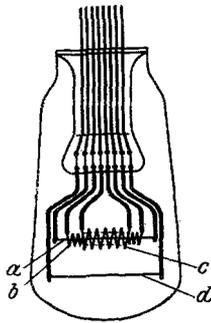


Fig. 1.

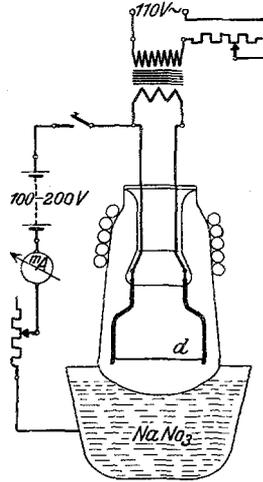


Fig. 2.

Zu diesem Zwecke kann man ein beliebiges Natriumsalz verwenden (wegen seines tiefen Schmelzpunktes haben wir NaNO_3 verwendet); das Salz wird geschmolzen, die Röhre mit einer wasserumflossenen Kühlschleife umgeben und mit dem untersten Teil in die Schmelze getaucht (Fig. 2). Zwischen der Hilfskathode (d) und dem Natriumsalz wurden 100 bis 200 Volt Gleichspannung angelegt; die Stromstärke bei der Elektrolyse betrug 5 bis 15 mA; nach 4 bis 5 Minuten war die gekühlte Wand der Röhre mit einer metallisch spiegelnden Natriumschicht überzogen*.

5. An den so vorbereiteten Röhren wurden nach dem oben angegebenen Verfahren die Kennlinien aufgenommen, mindestens bei zwei verschiedenen Anodenspannungen. Die Verschiebung der Kennlinien bei

* Über diese bekannte elektrolytische Darstellung des Natriums siehe z. B. R. C. Burt, Phil. Mag. **49**, 1168, 1925; P. Selényi, Ann. d. Phys. **84**, 11, 1927; L. Márton und E. Rostás, ZS. f. techn. Phys. **10**, 52, 1929.

reinem und mit Natrium bedecktem Gitter erwies sich als von der Anodenspannung völlig unabhängig, ebenso wurde der Einfluß der Heiztemperatur kontrolliert und als belanglos befunden. Das Aufdampfen des Natriums und das Ausglühen des Gitters erfolgte jeweils drei- bis viermal, so daß die endgültigen Kurven durch diese sechs bis acht Meßreihen gewonnen wurden. Um die erhaltenen Ergebnisse zu prüfen, haben wir fast bei jeder

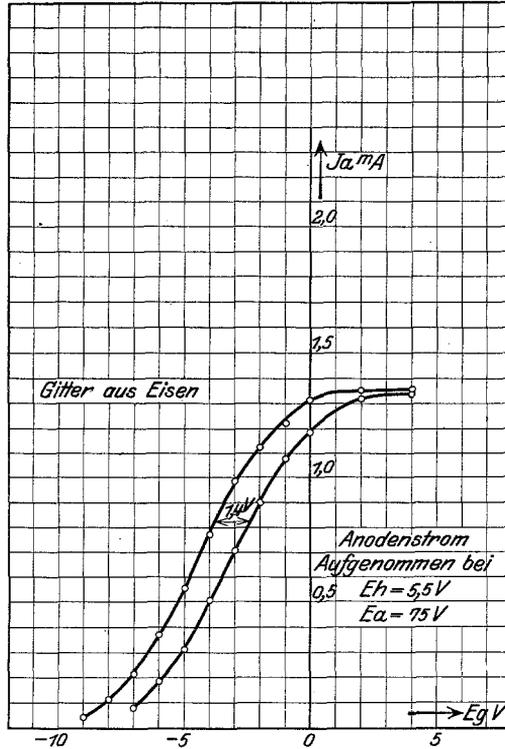


Fig. 3.

Röhre auch die Anlaufstromkurve aufgenommen (bei der Aufnahme der Anlaufstromkurven wurde das Gitter als Anode geschaltet) und deren Verschiebung gleich der der Kennlinien gefunden. Die Reproduzierbarkeit der Meßresultate verlangte, daß man den Kolben in eine Kältemischung bestehend aus CO_2 und Alkohol, tauche, während das Gitter ausgeglüht wurde, denn sonst wäre von dem erwärmten Glas nach Abschaltung der Gitterheizung das Natrium wieder auf die Spirale gedampft und die gemessene Verschiebung wäre kleiner ausgefallen. Bei einigen Röhren ver-

anlaßte das Herabhängen des Glühfadens Unannehmlichkeiten, da es vorkam, daß er an einer Stelle das Gitter beinahe berührte und von diesem kurze Zeit nach Einschalten der Emission stellenweise das Natrium entfernte; diese Schwierigkeit konnte so umgangen werden, daß die Emission immer nur für die zur Ablesung des Anodenstromes benötigte Zeit eingeschaltet wurde, diese Zeit war hinreichend kurz, um die Erwärmung

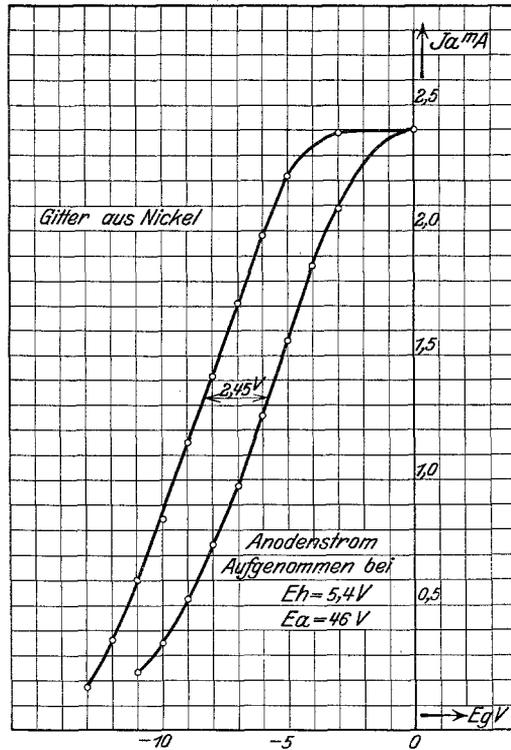


Fig. 4.

des so gefährdeten Teiles des Gitters zu vermeiden. Um sicher zu sein, daß tatsächlich die ganze Gitteroberfläche mit Natrium bedeckt ist, haben wir gleichzeitig mit der Aufdampfung den Anodenstrom in dem geradlinigen Teil der Kurve gemessen; bei Beginn der Natriumbedeckung fing der Strom (entsprechend der Verschiebung) an zu steigen, erreichte einen Grenzwert, wo er nun auch bei weiterer Erwärmung blieb, als Zeichen, daß die Natriumschicht sich gleichmäßig ausgebildet hat. Die vollkommene Entfernung der Natriumschicht wurde so wahrgenommen, daß die Spirale

auf immer höhere Temperatur (verschiedene Zeiten lang) gebracht und gleich* nach Abschaltung der Gitterheizung der Anodenstrom gemessen wurde: wenn nach einer Ausheizung auf höhere Temperatur der Anodenstrom nicht mehr heruntersank, so konnte man mit Sicherheit behaupten, daß die Natriumschicht vollkommen entfernt sei. Bei verschiedenen Röhren haben wir die Kennlinien auch schon vor der Einführung des Natriums

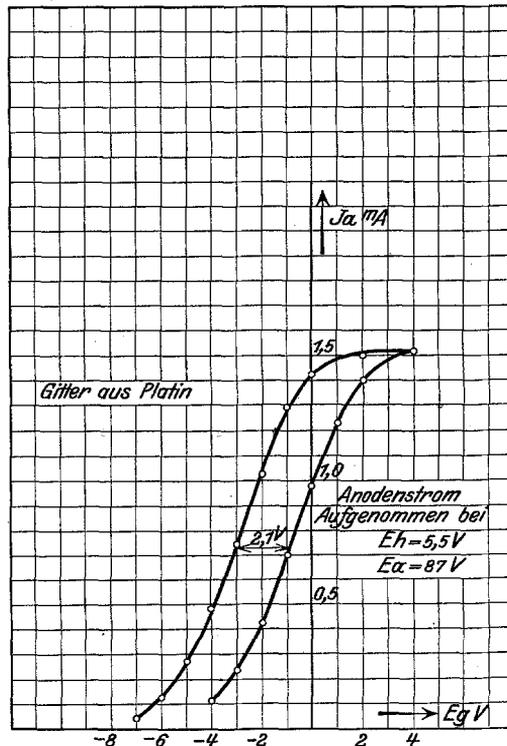


Fig. 5.

gemessen und wir erhielten dann nach Entfernung der Natriumschicht wieder diese ursprüngliche Kurve. Wohl muß bemerkt werden, daß es nicht in allen Fällen und bei jeder Röhre so war, denn es kam vor, daß die Oberfläche der Spirale nach dem Abschmelzen von der Pumpe noch nicht vollkommen rein war, so daß bei der ersten Messung eine größere,

* Selbstverständlich mußte man warten, bis die durch die Ausheizung hervorgerufene thermische Ausdehnung der Spirale wieder rückgängig geworden war.

in manchen Fällen eine kleinere Verschiebung zustande kam, oder daß das Natrium das Vakuum verbesserte und infolgedessen sich die Steilheit der Kurven änderte, nach wiederholter Ausheizung stellten sich aber stets reproduzierbare Zustände ein.

Nach den oben angeführten Versuchen ist es klar, daß wir nicht zu befürchten haben, daß zwischen Natrium und Metall irgendeine chemische

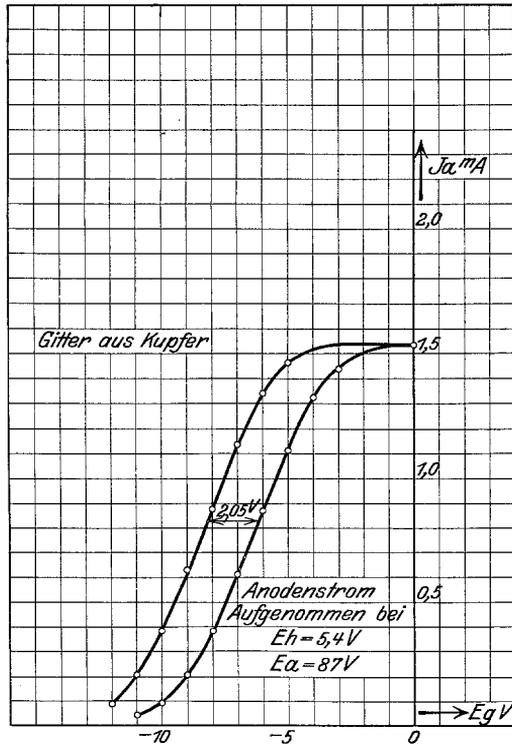


Fig. 6.

Bindung (z. B. als Ausbildung einer Schicht Natrium-Metallegierung) zustande kommt, die das ganze Meßverfahren gefährdet hätte.

Die Windungszahl des Gitters wurde von 11,5 bis 20,5 Windungen auf 17 mm Länge (es verursachte eine Änderung des Durchgriffs von 8% auf 20%) verändert, es diente zur Entscheidung, ob die gemessenen Verschiebungen von der Windungszahl abhängig sind oder nicht (eine Verschiedenheit der Ergebnisse hätte durch teilweises Haftenbleiben des Natriums an den den Zuleitungen benachbarten Windungen gedeutet werden können). Das

Resultat fiel negativ aus. Durch Ausglühen der Spiralanode konnten wir feststellen, daß bei dem alleinigen Ausglühen des Gitters die Verdampfung des Natriums von der Anode nicht eintrat; das gleichzeitige Ausglühen von Anode und Gitter (in Reihe geschaltet) verursachte eine um 0,3 bis 0,5 Volt (je nach Größe des Durchgriffs gemäß der Formel $E_{st} = E_g + DE_a$) größere Verschiebung, als wenn das Gitter allein ausgeheizt wurde.

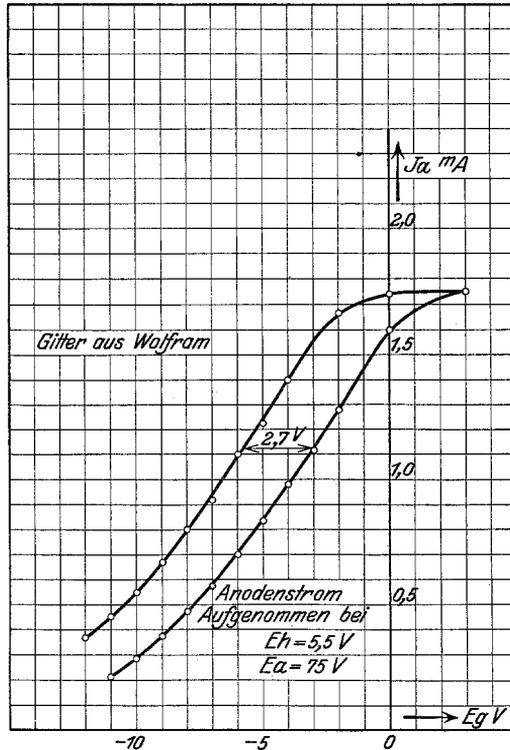


Fig. 7.

6. Meßergebnisse. Folgende sechs Metalle wurden untersucht: W, Pt, Mo, Ni, Fe und Cu. Von den angeführten eignen sich besonders die ersten drei wegen der hohen Schmelztemperatur für diese Versuche. Ni und Fe konnten auch noch in Form einer Spirale in die Röhre montiert werden, bei Cu mußte man aber eine Mo-Spirale elektrolytisch mit Cu bedecken, die Messungen konnten aber auch in diesem Falle einwandfrei ausgeführt werden, da das Natrium bei einer weitaus tieferen Temperatur von dem Draht verdampft wie Kupfer. Die Entfernung der letzten Schicht Natrium verlangt eine je nach dem Gittermaterial verschiedene Temperatur.

Die Kurven in Fig. 3 bis 8 geben die aufgenommenen Kennlinien wieder, Tabelle 1 die gefundenen Kontaktpotentialdifferenzen in Volt zwischen dem betreffenden Metall und Natrium.

Tabelle 1.

Mo	W	Fe	Ni	Pt	Cu
2	2,7	1,4	2,45	2,1	2,05

7. Nach den theoretischen Überlegungen von Richardson* besteht zwischen Kontaktpotential, glühelektrischer Emission und lichtelektrischer

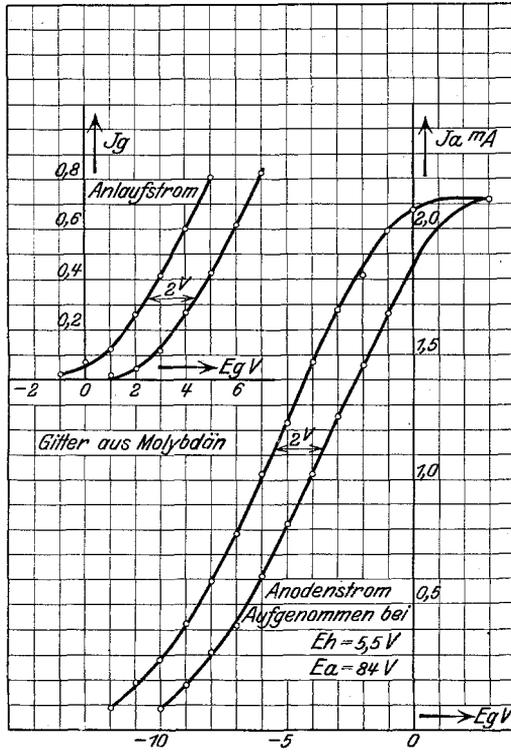


Fig. 8.

Emission ein inniger Zusammenhang. Zwischen dem Kontaktpotential und der sowohl für die Glühelektronen als für die Photoelektronen bestimmaren (identisch vorausgesetzten) Austrittsarbeit besteht folgender Zusammenhang:

$$\Delta V = \varphi_1 - \varphi_2 + \frac{T}{11600} \ln \frac{A_2}{A_1}, \quad (1)$$

* O. W. Richardson, Phil. Mag. 23, 615, 1912; 24, 570, 1912.

wo ΔV die Kontaktpotentialdifferenz, φ_1 und φ_2 die Austrittsarbeiten in Volt, T die absolute Temperatur, A_1 und A_2 die in der glühelektrischen Emissionsformel stehenden Richardsonkonstanten bedeuten. Die Konstanten A_1 und A_2 haben bei allen genau untersuchten reinen Metallen den Wert $60,2 \text{ Amp./cm}^2$ *, so daß für reine Metalle

$$\Delta V = \varphi_1 - \varphi_2, \quad (2)$$

d. h. die Kontaktpotentialdifferenz zweier Metalle ist gleich der Differenz der Austrittsarbeiten.

Tabelle 2.

	Na	Mo	W	Fe	Ni	Pt	Cu
Glühelektrische Austrittsarbeit in Volt	1,8	4,3	4,31-4,53	4,04	4,4	5,0 -6,0	3,85-4
Lichtelektrische Austrittsarbeit in Volt	1,8-2,12	4,33	4,52-5,36	3,92-4,3	3,68-4,57	3,63-6,5	4,07-4,63

Tabelle 2 enthält die Werte der Austrittsarbeiten der von uns untersuchten Metalle in Volt berechnet sowohl aus der glühelektrischen Emission als auch aus der langwelligen Grenze der lichtelektrischen Wirkung. Sämtliche Daten entnehmen wir der Arbeit von Gudden: Lichtelektrische Erscheinungen, Berlin 1928, S. 40. Leider zeigen die Angaben verschiedener Autoren große Abweichungen, die nicht allein in der Verschiedenheit der angewendeten Meßverfahren und der mangelhaften Reinheit der Oberfläche zu suchen sind, sondern auch auf individuellen Verschiedenheiten der Substanzen beruhen dürften, so daß es uns nicht möglich war, durch Vergleich unsere Meßergebnisse mit den in der Literatur gefundenen Daten die Gültigkeit der Richardsonschen Formel mit derselben Genauigkeit zu bestimmen, welche unsere Untersuchungsmethode zu erreichen gestattet. Die glühelektrischen Daten haben wir zum Vergleich mit unseren Ergebnissen gar nicht herangezogen, da diese bei weit höheren Temperaturen bestimmt worden sind. Tabelle 3 enthält die Austrittsarbeitdifferenzen, berechnet aus der lichtelektrischen Wirkung, wenn man für Natrium als den wahrscheinlichsten Wert 2 Volt annimmt. Die zweite Reihe gibt zum Vergleich die von uns gefundenen Werte der Kontaktpotentialdifferenzen an.

* O. W. Richardson, Emission of Electricity from Hot Bodies 1921, S. 41; Handb. d. Radiologie 4, 311.

Tabelle 3.

	Mo	W	Fe	Ni	Pt	Cu
Berechnete Werte	2,33	2,52—3,36	1,92—2,3	1,68—2,57	1,63—4,5	2,07—2,63
Gemessene Werte	2,0	2,7	1,4	2,45	2,1	2,05

Es wäre erwünscht, die genaue Gültigkeit der Gleichung (2) durch Messung der Kontaktpotentialdifferenzen und langwelligen Grenzwellenlängen an denselben Versuchsmaterialien gleichzeitig zu bestimmen.

8. Mit einer geringen Veränderung der Meßmethode haben wir weiter die Kontaktpotentialdifferenz Quecksilber—Molybdän bestimmt. Zu diesem Zweck wurde in die gut evakuierte und mehrmals stundenlang auf 400 bis 500° ausgeheizte Röhre sorgfältig gereinigtes Quecksilber eingeführt. Die dazu benutzte Anordnung zeigt Fig. 9. Das Quecksilber befindet sich während des Heizens des Ofens in dem aus dem Ofen herausragenden U-Rohre. Nach dem Abkühlen der Versuchsröhre drängt sich das Quecksilber nach Einlassen von Luft durch den Hahn *b* in die Röhre hinein; nach darauf folgendem Absaugen bzw. Senken der Quecksilbersäule bleibt ein Tropfen in dem Formstück *c*. Die Röhre wird dann bei *d* abgeschmolzen. Die so vorbereitete

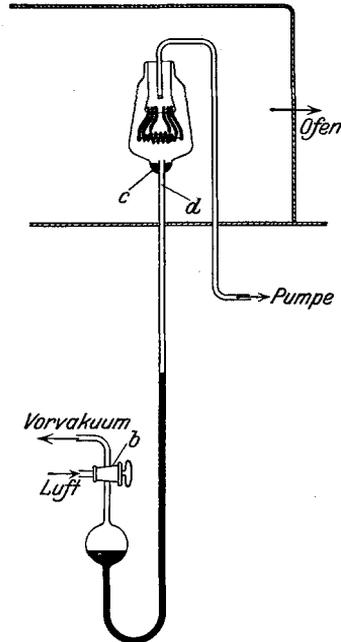


Fig. 9.

Röhre wurde während der Aufnahme der Kennlinien in flüssige Luft getaucht. Das Verdampfen bzw. Aufdampfen des Quecksilbers auf das Gitter geschah durch Ausglühen des Gitters bzw. durch Entfernen des Kühlgefäßes.

Fig. 10 zeigt die Verschiebung der Kennlinien bzw. der Anlaufstromkurven um 0,45 Volt. Dieser Spannungsunterschied zwischen Molybdän und Quecksilber entspricht mit großer Genauigkeit den Untersuchungen von Taubes*, nach welchen die lichtelektrische Austrittsarbeit für Quecksilber 4,75 Volt beträgt.

* S. Taubes, Ann. d. Phys. 76, 629, 1925.

9. Unsere Meßmethode ist geeignet, die Kontaktpotentialdifferenzen auch bei höheren Temperaturen zu ermitteln; man braucht bloß das Gitter durch Wechselstrom auf die gewünschte Temperatur zu heizen: der Spannungsabfall des Heizstromes sowie die elektrischen und magnetischen Wirkungen des Gitterheizstromes haben auf den Verlauf der Kennlinien keinen Einfluß, solange der Arbeitspunkt im geradlinigen Teil der Kenn-

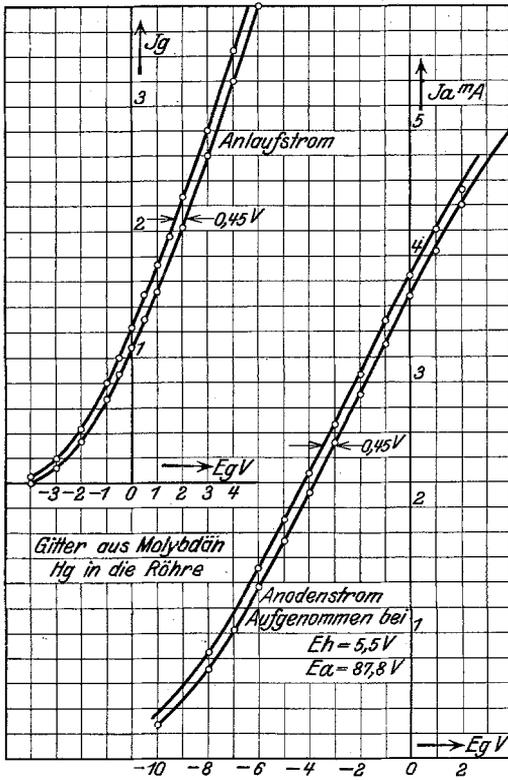


Fig. 10.

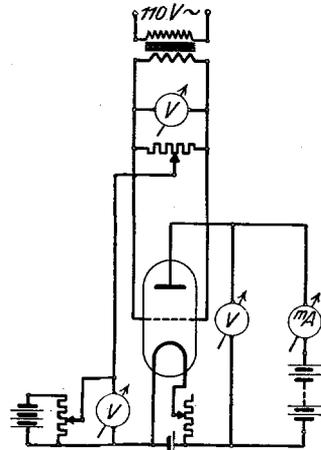


Fig. 11.

linie liegt. Nach unseren orientierenden Versuchen, die nach der in Fig. 11 angegebenen Schaltanordnung vorgenommen worden sind, scheint die Kontaktpotentialdifferenz bis ungefähr 800° C temperaturunabhängig zu sein. Selbstverständlich verursacht die thermische Ausdehnung der Gitterspirale sowie die Kühlwirkung der Zuleitungen gewisse Fehler, die aber durch Verwendung kurzer Glühkathoden und Invar als Grundmaterial (mit verschiedenen Metallüberzügen) behoben werden können.

Die Ausdehnung der Methode auf die anderen Alkalien ist schon in Angriff genommen.

Zusammenfassung.

1. Es wird eine Methode angegeben, die die Bestimmung der Kontaktpotentialdifferenzen durch Veränderung des Gitters einer Dreielektrodenröhre und durch gleichzeitige Aufnahme der Kennlinien mit großer Genauigkeit unter reinsten Versuchsverbindungen ermöglicht.

2. Es wurden mit Natrium als Vergleichsmaterial folgende Metalle untersucht: Mo, Pt, W, Ni, Cu und Fe. Die gefundenen Kontaktpotentialdifferenzen stehen in guter Übereinstimmung mit den glüh- und lichtelektrisch bestimmten Unterschieden der Austrittsarbeiten.

3. Durch Verwendung von Quecksilber als Vergleichssubstanz wurde die Kontaktpotentialdifferenz zwischen Molybdän und Quecksilber gemessen.

4. Die Erweiterung der Methode gestattet die Temperaturunabhängigkeit der Kontaktpotentiale zu bestimmen.

Die benutzten Elektronenröhren wurden uns von der Vatea-Elektronenröhrenfabrik A. G. zur Verfügung gestellt.

Die Versuche wurden im I. Physikalischen Institut der Universität in Budapest ausgeführt. Es ist uns eine angenehme Pflicht, auch an dieser Stelle Herrn Prof. Karl Tangl für seine freundliche Hilfe und rege Anteilnahme unseren wärmsten Dank auszusprechen.

Budapest, 16. Mai 1930.
